

Meetregister Zuid-Holland 2017

Rapportage van de nauwkeurigheidswaterpassing en satelliet radar
interferometrie

rapportage behorende bij het meetplan
Zuid Holland 2017

12 januari 2018

Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.

Documentnummer: NAM EP201709207562

Inhoudsopgave

1	Introductie	5
1.1	Historie meetregister	5
1.2	Beschikbaarheid meetgegevens	6
2	Waterpassing	9
2.1	Ontwerp en inrichting van het waterpasmeetnet	9
2.1.1	Ontwerp van het meetnet	9
2.1.2	Inrichting van het meetnet	10
2.2	Metingen	10
2.2.1	Meetmethode	10
2.2.2	Instrumentarium en uitvoering	10
2.3	Toetsing en vereffening	10
2.3.1	Toetsing en vereffening	10
2.3.2	Beoordeling resultaten	11
2.4	Bewegingsanalyse peilmerken	11
3	PS-InSAR	13
3.1	Conversie naar de verticaal	13
3.2	Selectie van representatieve punten	13
3.3	Congruentie in ruimte en tijd	14
3.3.1	Omrekenen InSAR op peilmerklocaties	14
3.3.2	Differentie in de tijd	14
3.3.3	Aansluiting van tijdseries op elkaar	14
3.4	Referentie conversie	15
3.4.1	Datumtransformatie InSAR naar waterpassing	15
3.4.2	Datumtransformatie waterpassing naar InSAR	16
4	Vergelijking	17
4.1	Resultaten	17
4.2	Beoordeling	18
4.2.1	Meetonzekerheid	21
4.2.2	Autonome beweging van meetpunten	22
5	Conclusies	24

Bijlagen

A	Geleverde data	25
A.1	MOVE3 bestanden	25
A.2	Differentiestaat waterpassing.....	25
A.3	Overzichtskaart deformatienet met differenties [2011–2016]	26
A.4	Differentiestaat InSAR.....	26
A.5	Gecombineerde differentiestaat uit waterpassing en InSAR	26
B	Opmerkingen betreffende de waterpassing.....	28
C	Aanvullende resultaten	29

Samenvatting

Dit rapport geeft achtergrondinformatie over de in het kader van het meetregister Zuid Holland 2017 te rapporteren waterpassingen. Tevens worden de gewaterpaste hoogteverschillen vergeleken met deformatiemetingen uit Persistent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar (PS-InSAR). Daarbij wordt geconstateerd, dat, bij gebruikmaking van een stabiel verondersteld referentiegebied buiten de invloedssfeer van de delfstofwinning, 88 % van de verschillen in de periode van 2011 tot 2016 kleiner zijn dan 1 cm. Een voorname bron van afwijkingen zijn daarbij autonome bewegingen van de meetpunten, die niet door de delfstofwinning zijn veroorzaakt. De toekenning van oorzaken aan de waargenomen bodembeweging valt echter buiten het kader van het meetregister. De meetresultaten zijn opgeleverd als tijdreeksen per meetpunt in twee aparte differentiestaten voor waterpassing en InSAR alsmede in een gecombineerde differentiestaat van beide technieken.

1 Introductie

1.1 Historie meetregister

Tot en met 2011 werden in het meetregister Zuid Holland telkens waterpassingen gerapporteerd. In 2014 werden uit Persistent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar (PS-InSAR) afgeleide deformatiemetingen gerapporteerd en gevalideerd aan hand van twee gewaterpaste validatiegebieden. De validatie is gerapporteerd in het meetregister Zuid Holland 2014. Daarin konden geen onverklaarbare afwijkingen tussen de twee technieken worden geconstateerd.

In de brief van 5 april 2016 stelde Staatstoezicht op de Mijnen, dat InSAR nog niet voldoende volwassen zou zijn in vergelijking met andere inwinningstechnieken. Tevens zou de NAM voor Zuid-Holland middels waterpassing van 2016 de bodemdaling vast kunnen stellen en deze kunnen vergelijken met de bodemdaling zoals vastgesteld op basis van alleen PS-InSAR. Dit rapport geeft uitvoering aan dit verzoek.

Een en ander is ook nader besproken in een overleg tussen SodM en NAM op 6 oktober 2016. Tijdens dit overleg is tevens een aantal zorgpunten van SodM ten aanzien van gebruik van PS-InSAR weggenomen. Daarbij is specifiek voor Zuid-Holland het volgende opgemerkt:

- De meting van de diepe bodemdaling wordt in dit gebied structureel bemoeilijkt door ondiepe compactie van de zachte veengrond.
- Alle PS en de meeste peilmerken zijn gehecht aan dichte en zware bebouwing en infrastructuur met gevarieerd zakkingsgedrag.
- Omdat de kans groot is, dat individuele peilmerken verstoord zijn, geeft PS-InSAR een beter beeld van het grootschalige deformatiepatroon.

In het meetplan Zuid-Holland 2017 is aangegeven, dat in 2017 de Radarsat-2 deformatiemetingen zullen worden gerapporteerd, alsmede de door Rijkswaterstaat uitgevoerde waterpassing van 2016. Voor de overlappende periode zal een gecombineerde differentiestaat worden opgesteld.

In dit meetregister worden de resultaten van de nauwkeurigheidswaterpassing en van de satelliet radar interferometrie gerapporteerd, waarmee uitvoering wordt gegeven aan het gestelde in artikel 31, Mijnbouwbesluit 2002, met betrekking tot de uitvoering en rapportage van metingen overeenkomstig het goedgekeurde meetplan Zuid-Holland 2017

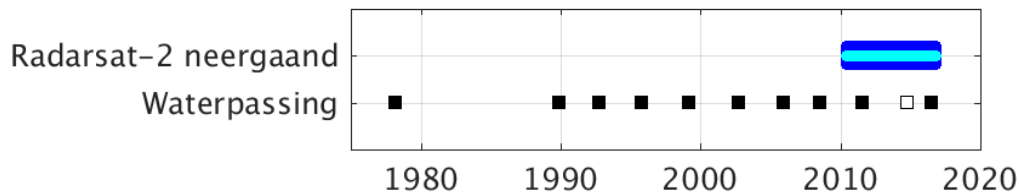
Voor de waterpassing is de procedure gevolgd, die met ingang van 18 augustus 2005 is vastgesteld door Staatstoezicht op de Mijnen en Rijkswaterstaat Centrale Informatievoorziening (RWS-CIV) ten behoeve van een zorgvuldige en betrouwbare uitvoering van de metingen en de rapportage. De metingen zijn uitgevoerd conform de voorschriften van RWS-CIV zoals vastgelegd in: 'Productspecificaties Beheer NAP, secundaire waterpassing t.b.v. de bijhouding van het NAP, versie 1.1 van januari 2008'.

Het nu voorliggende rapport vormt het officiële en openbare 'meetregister' behorende bij het meetplan Zuid-Holland 2017. Voor wat betreft de waterpassing, bevat dit meetregister alleen een vrije vereffening (eerste fase) ter controle op de waarnemingen.

De in dit meetregister gepubliceerde hoogten geven alleen een indruk van de beweging van de gemeten peilmerken. De bijdrage aan deze beweging van een enkele oorzaak en de relatie met maaiveld- en/of bodembewegingen kan men slechts afleiden met doelgerichte verdere analyses door ter zake deskundigen. Dergelijke analyses vallen buiten het kader van dit meetregister. Daarnaast heeft RWS-CIV het recht de getoetste metingen naar eigen inzicht aan te sluiten op het NAP - net, ten einde de vastgestelde hoogten op te nemen in het openbare NAP – peilmerken register.

1.2 Beschikbaarheid meetgegevens

Sinds 1978 wordt de bodemdaling in Zuid-Holland gemonitord door regelmatige waterpassingen. Vanaf medio 2010 zijn InSAR waarnemingen van het rapportagegebied beschikbaar, afkomstig van de satellietmissie Radarsat-2 (neergaande baan; zie Figuur 1). In 2014 werd de gemeten bodemdaling gebaseerd op InSAR-metingen gerapporteerd, en er werden slechts twee validatiegebieden gewaterpast. In 2016 heeft Rijkswaterstaat weer een volledige waterpassing uitgevoerd.



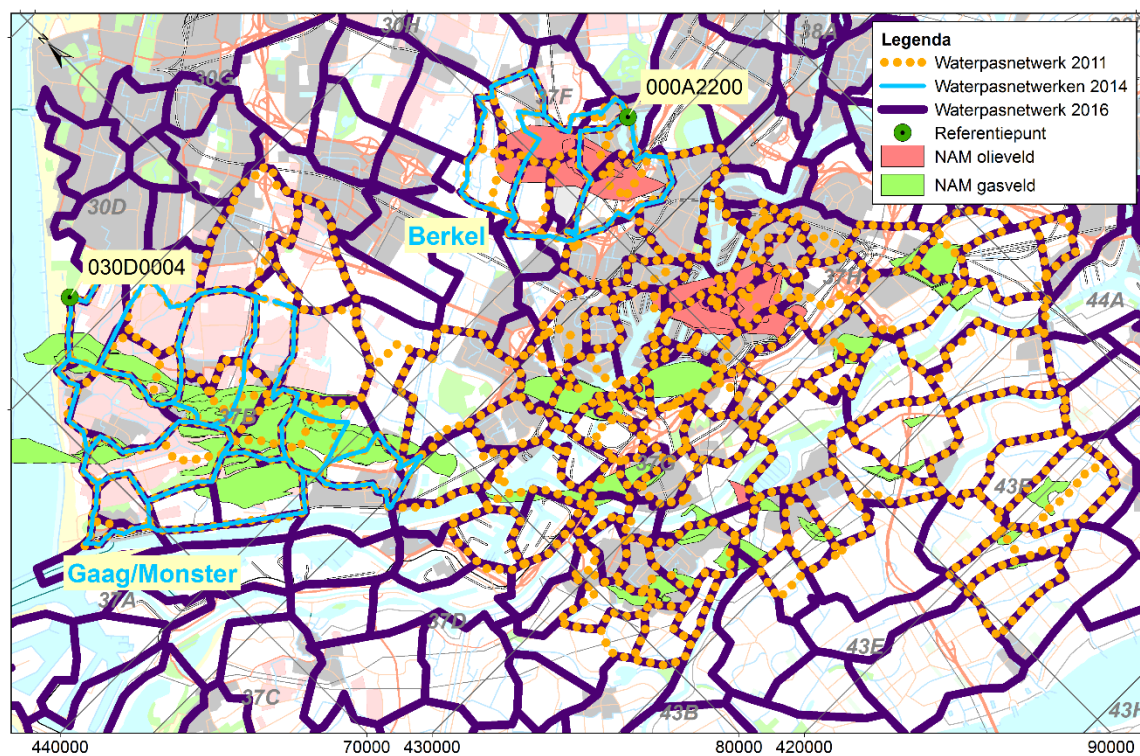
Figuur 1: Temporele bemonstering van satelliet opnames en tijdstippen van de waterpassingen. In 2014 zijn slechts twee validatiegebieden (zie Figuur 2) gewaterpast.

De waterpasnetwerken van de laatste jaren bedekken verschillende gebieden en hebben verschillende referentiepunten (zie Tabel 1 en Figuur 2).

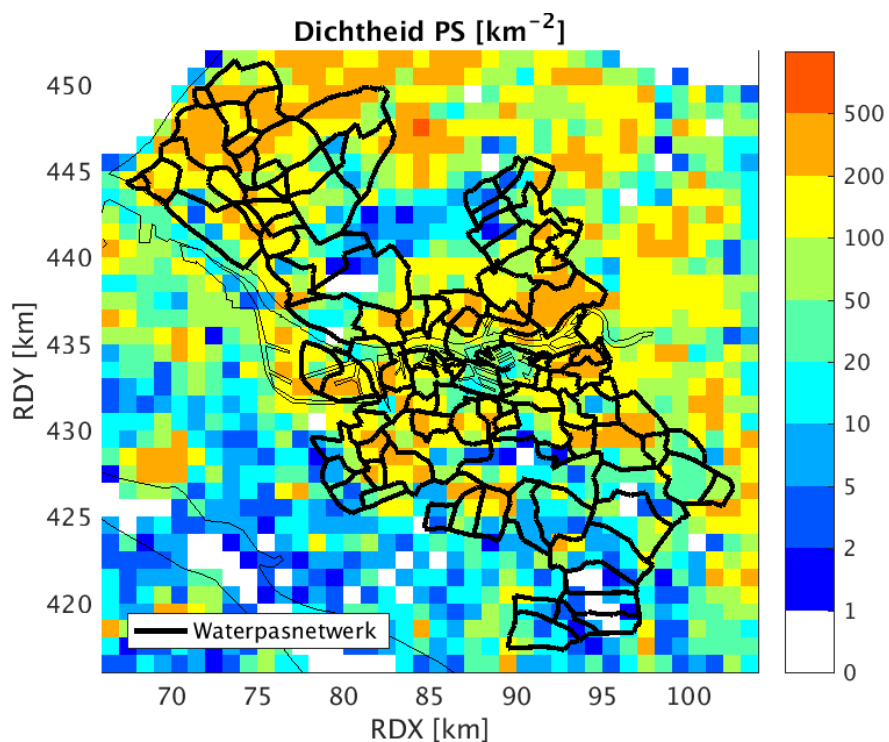
Tabel 1: Waterpasnetwerken in Zuid-Holland van de laatste jaren

Jaar	Omvang	Referentiepeilmerk
2011	= Rapportagegebied	030D0004
2014	Validatiegebied "Gaag/Monster"	030D0004
2014	Validatiegebied "Berkel"	000A2200
2016	> Rapportagegebied	030D0004

In de InSAR techniek wordt gebruik gemaakt van een tijdserie van radar opnames met een satelliet (hier: Radarsat-2). De meetpunten (Persistent Scatterers, PS) hebben een consistente reflectie in de tijd, en corresponderen voornamelijk met bebouwing in het terrein. De opname frequentie is 24 dagen, en de PS-dichtheid is in het dicht bebouwde rapportagegebied ruim voldoende (zie Figuur 3).

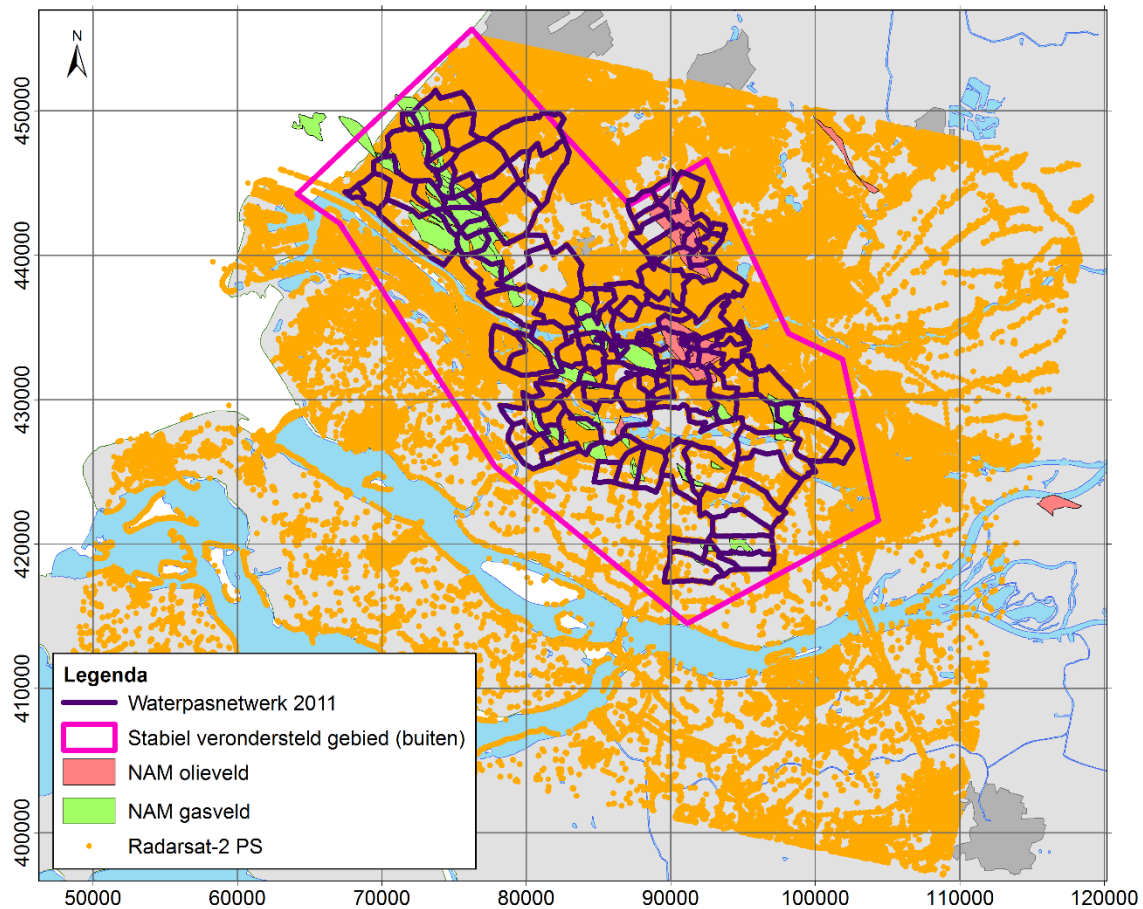


Figuur 2: Omvang van de waterpasnetwerken in Zuid-Holland van de laatste jaren.



Figuur 3: PS-dichtheid in het rapportagegebied. Aangegeven wordt het aantal PS per vierkant van 1 km^2 . De zwarte lijnen geven het waterpasnetwerk van 2011 weer, dat het rapportagegebied volledig afdekt.

Wat betreft de InSAR metingen is voor een zo generiek mogelijke ruimtelijke referentie gekozen. Een enkel punt heeft het nadeel, dat diens stabiliteit nooit met zekerheid kan worden geconstateerd. Daarom is per epoche de gemiddelde deformatie van alle PS buiten de invloedssfeer van de delfstofwinning als referentie gebruikt (zie Figuur 4). Ook al is bekend, dat in verband met zetting van gebouwen en infrastructuur of veencompactie in delen van het rapportagegebied van stabiliteit geen sprake kan zijn, is de gemiddelde deformatie een redelijk robuuste referentie.



Figuur 4: Bedekking van de geproceste Radarsat-2 data. Het gebied buiten de paarse lijn is als stabiel verondersteld referentiegebied gebruikt.

2 Waterpassing

2.1 Ontwerp en inrichting van het waterpasmeetnet

2.1.1 Ontwerp van het meetnet

Bij het ontwerp van het meetnet zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd.

Aansluitpunten

Het meetnet is zodanig ontworpen dat de peilmerken op de rand van het net buiten de invloedssfeer van de mijnbouwactiviteiten van NAM vallen.

Kringen en trajecten

De grootte van het meetnet is zodanig gekozen, dat het gebied waar deformatie kan optreden is omsloten. Alle peilmerken zijn opgenomen in gesloten kringen, wat een belangrijke voorwaarde is om de betrouwbaarheid van de meetresultaten te kunnen toetsen. Deze kringen worden gevormd door trajecten. De trajecten, die bestaan uit een aantal secties, zijn zoveel mogelijk langs bestaande wegen gelegen.

Punt dichtheid

Met instemming van Staatstoezicht op de Mijnen zijn bij de inrichting de volgende richtlijnen voor de peilmerkdichtheid in de waterpastrajecten gehanteerd:

- Binnen de bebouwde kom: een onderlinge afstand van circa 500m.
- Buiten de bebouwde kom: een onderlinge afstand van circa 1000m.

Secundaire optische waterpassingen

De metingen zijn zodanig uitgevoerd dat ze voldoen aan de besteisen van RWS-CIV voor secundair optische waterpassingen. Deze eisen zijn:

- De standaardafwijking van de waarnemingen (gem. heen- en teruggang) is 1 mm/ $\sqrt{\text{km}}$;
- Voor de sectietolerantie $\leq 3\sqrt{L}$ mm;
- Maximale afstand tussen instrument en baak is 50 m;
- Het maximale afstandsverloop is 3 m;
- De MOVE3-vereffening moet voldoen aan de specificaties.

L is hierbij de afstand in kilometers.

Bij overschrijding van de toleranties vindt hermeting plaats.

Betrouwbaarheid en precisie

Doel van de metingen is, met voldoende betrouwbaarheid en precisie inzicht te krijgen in de peilmerk dalingen. Voor de betrouwbaarheid en precisie is als uitgangspunt gehanteerd dat de differenties tot op enkele millimeters nauwkeurig met een hoge mate van betrouwbaarheid kunnen worden vastgesteld.

De betrouwbaarheid wordt enerzijds gewaarborgd door de configuratie van het meetnet, anderzijds door het uitvoeren van herhalingsmetingen waarbij 'foutieve' waarden kunnen worden opgespoord.

De precisie wordt enerzijds gewaarborgd door de waterpassingen te laten voldoen aan de eisen van RWS-CIV voor secundair optische waterpassingen, anderzijds door de huidige configuratie van het meetnet.

2.1.2 Inrichting van het meetnet

Bij de inrichting is gebruik gemaakt van bestaande peilmerken uit het NAP-peilmerkenregister.

Het meetnet bestaat in totaal uit 1881 peilmerken en 46 ondergrondse merken.

De totale lengte van het meetnet is 1565 kilometer (enkele gang).

2.2 Metingen

2.2.1 Meetmethode

De waterpassing is uitgevoerd conform de eisen van RWS-CIV voor secundair optische waterpassingen. De toetsingscriteria staan vermeld in hoofdstuk 2.1.1. De secties zijn in heen- en teruggang gemeten. De maximaal toegepaste afstand tussen instrument en baak is 50 meter.

De waterpasgegevens zijn opgenomen in een elektronisch veldboek. Alle meetgegevens worden direct gecodeerd opgeslagen in het elektronisch veldboek.

2.2.2 Instrumentarium en uitvoering

De metingen zijn uitgevoerd met een digitaal waterpasinstrument. Dit is een elektronisch waterpasinstrument, waarbij de baken digitaal worden afgelezen. Dit heeft als voordeel dat er geen afleesfouten kunnen voorkomen.

2.3 Toetsing en vereffening

2.3.1 Toetsing en vereffening

Voor de vereffening is getoetst of de metingen voldoen aan de eisen van RWS-CIV voor secundair optische waterpassingen, zoals genoemd in paragraaf 2.1.1.

Bij overschrijding van de toleranties zijn hermetingen uitgevoerd.

Met MOVE3-vereffeningssoftware zijn de kringsluitfouten berekend (zie bijlage A.1).

De hoogteverschillen en afstanden tussen de peilmerken zijn voor de heen- en de teruggang bepaald. De gemiddelde hoogteverschillen en afstanden vormen samen met de NAP-hoogte van de aansluitpunten de invoer voor het vereffening- en berekeningsprogramma MOVE3.

Vervolgens is een eerste fase vereffening uitgevoerd ter controle op de waarnemingen volgens de methode van de kleinste kwadraten, waarbij het meetnet intern wordt getoetst. Hierbij vindt toetsing plaats van het meetnet als geheel (F-toets) en toetsing van de afzonderlijke

waarnemingen (W-toets). Zowel de afzonderlijke waarnemingen als het meetnet voldoen aan de toetsingscriteria.

In geval van verwerpingen, worden één of meerdere secties hermeten tot aan de toetsingscriteria wordt voldaan.

De gemeten hoogteverschillen, de resultaten van de vereffening en de berekende hoogten van de knooppunten zijn terug te vinden in de uitvoer van MOVE3 (zie bijlage A.1).

2.3.2 Beoordeling resultaten

Metingen

Alle secties, trajecten en kringen hebben sluitfouten die liggen binnen de toleranties die vermeld zijn in hoofdstuk 2.1.1.

De eerste fase vereffening van het meetnet met MOVE3, waarbij alleen waarnemingen worden getoetst levert geen verwerpingen op.

Toetsing door RWS-CIV

RWS-CIV heeft de metingen getoetst en goed bevonden. RWS-CIV zal de metingen eventueel naar eigen inzicht aansluiten op het NAP-net teneinde de vastgestelde hoogten op te nemen in het NAP-peilmerkregister.

2.4 Bewegingsanalyse peilmerken

In de differentiestaat (bijlage A.2) is af te lezen wat de differentie is sinds de nulmeting in 1989. Op de overzichtskaart op bijlage A.3 zijn het waterpasnet en de berekende differenties tussen de meting van 2011 en de huidige meting weergegeven. De differenties zijn niet gecorrigeerd voor externe invloeden.

Voor een analyse van relatieve peilmerkbewegingen wordt het meetnet aangesloten op één peilmerk. In overleg met Staatstoezicht op de Mijnen is gekozen voor het peilmerk 030D0004. Voor aansluiting op één peilmerk is gekozen om wringing en correcties in het net ten gevolge van ongelijkmatige zakking van aansluitpunten te voorkomen. Herhalings metingen zijn zodoende beter met elkaar te vergelijken.

Voor aansluiting op één peilmerk is gekozen om wringing en correcties in het net ten gevolge van ongelijkmatige zakking van aansluitpunten te voorkomen. Achtereenvolgende metingen zijn zodoende beter met elkaar te vergelijken.

Voor aansluitpunt 030D0004, in de Watertoren van Monster (zie figuur 1), is gekozen omdat dit peilmerk in alle metingen is aangemeten en het een zeer stabiel gedrag vertoont over de tijd. Deze aanname wordt bevestigd door de relatieve stabiliteit van de nabije ondergrondse merken 000A3070 en 000A4021 (zie ook bijlage A.2: Differentiestaat), die niet onder invloed van de velden Graag en Monster staan. Ook de NAP hoogten uit tabel 1, die verder niet gebruikt worden in dit meetregister, bevestigen de aanname van punt 030D0004 als stabiel referentiepunt.



Figuur 5: Aansluitpunt 030D0004

Tabel 2: NAP historie aansluitpunt 030D0004, bron: RWS NAPinfo (Geoweb)

ProjectID	NAP hoogte	Meetdatum	Orde
289=27=NAP	4.082	1989-01-31	2
317=00=NAP	4.082	1989-11-12	2
332=03=NAP	4.082	1992-10-05	2
342=07=NAP	4.082	1995-10-06	2
371=00=NAP	4.081	1997-03-23	1
363=00=NAP	4.079	1999-03-09	2
376=49=NAP	4.079	2002-09-08	2
380=82	4.085	2005-11-24	2
384=04	4.080	2008-09-02	2
386=063	4.083	2011-07-07	2
386=144	4.080	2014-09-23	2
388=01	4.077	2016-09-07	2

3 PS-InSAR

Voor een consistente vergelijking van hoogteverschillen, die door verschillende meettechnieken zijn gemeten, zijn een aantal naverwerkingsstappen noodzakelijk. Deze verschillen, afhankelijk van de respectievelijke toepassing. Tabel 3 geeft een overzicht, voor welke doeleinden welke naverwerkingsstappen zijn toegepast.

Tabel 3: Toepassing van InSAR naverwerkingsstappen voor verschillende doeleinden met referenties naar de respectievelijke paragrafen.

	Vergelijking (4)	InSAR differentie- staat (A.4)	Gecombineerde differentiestaat (A.5)
Conversie naar de verticaal (3.1)	X	X	X
Selectie van representatieve punten (3.2)	X	X	X
Omrekenen InSAR op peilmerklocaties (3.3.1)	X		X
Differentie in de tijd (3.3.2)	X		
Aansluiting van tijdseries op elkaar (3.3.3)			X
Referentie conversie (3.4)	X		X

3.1 Conversie naar de verticaal

InSAR deformatiemetingen geven bewegingen in de kijkrichting van de satelliet weer en kunnen niet direct als hoogteveranderingen worden beschouwd. Voor de vergelijking, oftewel combinatie met waterpassingen, zijn de InSAR metingen daarom naar de verticaal geconverteerd onder de aanname, dat geen horizontale beweging heeft plaatsgevonden. De verwachte horizontale bewegingen zijn echter relatief klein, en vanwege de steile kijkhoek is de InSAR techniek ook minder gevoelig voor horizontale dan voor verticale deformatie. Per 1 mm/a horizontale beweging is het vervalsende effect op de geconstateerde verticale beweging 0,6...0,7 mm/a.

3.2 Selectie van representatieve punten

De berekende deformatie uit InSAR is niet zonder meer representatief voor de bodembeweging als gevolg van delfstoffenwinning. De beweging van de PS is mogelijk een superpositie van deformatie als gevolg van verschillende oorzaken (instabiele fundering, ondiepe en diepe compactie). Ook kan het verschil tussen directe en indirecte reflecties een rol spelen. Daarom zijn in deze analyse uitsluitend PS meegenomen, waarvan de deformatie met naburige punten in overeenstemming is. Deze overeenstemming wordt beoordeeld aan de hand van het glijdend gemiddelde over de deformatie tijdserie van een individuele PS (middeling over drie opeenvolgende opnames). Dit wordt vergeleken met een referentietijdserie, die per epoche de mediaan (in ruimte) van het glijdende gemiddelde (in tijd) over de tijdseries van naburige PS bevat. Criteria voor overeenstemming zijn een maximaal verschil in lineaire bewegingssnelheid van 1,5 mm/a en dat de bandbreedte van epoche-wijze afwijkingen niet groter is dan 14 mm.

3.3 Congruentie in ruimte en tijd

De vergelijking van InSAR met waterpassingen is gebaseerd op veranderingen van peilmerk-gewijze hoogteverschillen ten opzichte van de respectievelijke ruimtelijke referenties tussen twee meetcampagnes. Gezien het feit dat de differenties in én ruimte én tijd zijn, is er sprake van zogenoemde dubbel-differenties. Terwijl deze uit de waterpassing direct kunnen worden afgeleid, zijn InSAR waarnemingen nóch op dezelfde tijdstippen nóch op dezelfde locaties beschikbaar. De benodigde dubbel-differenties moeten dus van de beschikbare PS-gewijze tijdseries gegenereerd worden.

3.3.1 Omrekenen InSAR op peilmerklocaties

Door waterpassing en InSAR worden niet dezelfde meetpunten waargenomen (peilmerken versus PS). Om een combinatie toch mogelijk te maken, wordt aangenomen, dat het gemiddelde bewegingsgedrag van alle PS binnen een straal van 500 m rond een peilmerk gelijk is aan de beweging van het peilmerk zelf. Congruentie in de ruimte wordt dus bereikt door de tijdseries van alle PS binnen een straal van 500 m rond een peilmerk te verenigen. Als eerste stap wordt één representatieve deformatie tijdserie van de PS binnen een straal van 500 m rond een peilmerk berekend. Per tijdserie wordt de, in de tijd gemiddelde deformatie afgetrokken en vervolgens per epoche de mediaan (in ruimte) over alle tijdseries genomen. Als tussenresultaat ontstaat één representatieve tijdserie voor de naburige PS.

3.3.2 Differentie in de tijd

Voor de vergelijking met de waterpassing moet de verticale bodembeweging worden berekend, dat door InSAR tussen de gemiddelde tijdstippen van twee waterpascampagnes is waargenomen. Dit gebeurt door de, voor een peilmerklocatie berekende, InSAR tijdserie in tijdvakken van drie maanden vóór- en na de twee waterpassingen te middelen. De differenties van deze twee gemiddelde waardes kunnen vervolgens met de gewaterpaste dubbel-differenties worden vergeleken.

3.3.3 Aansluiting van tijdseries op elkaar

Om een gecombineerde tijdserie van InSAR en waterpassing te berekenen, moeten de relatieve tijdseries van de twee technieken door schatting van een offset op elkaar worden aangesloten. Uitgangspunt zijn de tijdseries van waterpassingen op een peilmerk en de volgens paragraaf 3.3.1 op de peilmerklocaties omgerekende InSAR tijdseries.

Vervolgens worden voor de InSAR tijdseries gemiddelde waardes binnen een tijdvak van een half jaar vóór en na de gemiddelde tijdstippen van de waterpassing berekend. De offset t.o.v. de waterpassing is dan de gemiddelde differentie tussen de InSAR deformatie waarde en het gewaterpaste hoogteverschil. Deze offset wordt toegepast, door deze van de gehele InSAR tijdserie af te trekken. Gerapporteerd worden jaarlijkse gemiddelde waardes.

Aansluiting van de resulterende InSAR tijdserie op de waterpassing kan alleen bij overlap in de tijd. Voor peilmerken, die vóór 2011 zijn vervallen, is geen aansluiting mogelijk en worden er twee aparte tijdseries voor waterpassing en InSAR aangeleverd. Voor de InSAR tijdserie betekent dit, dat ook een referentie in de tijd moet worden gedefinieerd, omdat met InSAR in tegenstelling tot waterpassing geen absolute ruimtelijke hoogteverschillen, maar alleen veranderingen van ruimtelijke hoogteverschillen kunnen worden waargenomen. De InSAR tijdserie wordt dus met de

gemiddelde deformatie in het eerste jaar op nul gesteld en in de differentiestaat (bijlage A.5) als aparte regel met het achtervoegsel “a” aan het peilmerknnummer opgenomen.

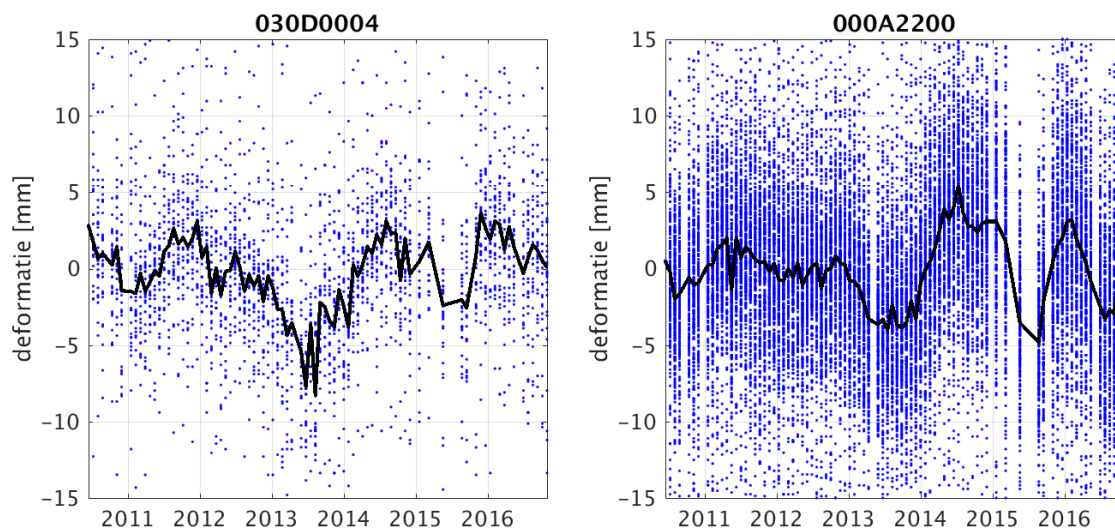
3.4 Referentie conversie

Voor een consistente vergelijking van InSAR waarnemingen met waterpassingen is het essentieel, dat de ruimtelijke referenties van beide meettechnieken in overeenstemming zijn. Dat is a priori niet het geval, gezien de waterpassingen aan één referentiepunt en de InSAR metingen aan een stabiel verondersteld gebied gerelateerd zijn. Het is noodzakelijk, om de metingen van één van de technieken naar de datum van de andere techniek te converteren.

3.4.1 Datumtransformatie InSAR naar waterpassing

Eén mogelijkheid is dus, de InSAR metingen naar het referentiepunt van de waterpassing te transformeren. Om dit te bereiken, wordt een referentietijdserie berekend, die per epoche de mediaan (in ruimte) van de deformatie van alle PS binnen een straal van 1 km rond het referentiepeilmerk van de waterpassing bevat. Veronderstellend, dat de, op deze PS gemeten deformatie representatief is voor het bewegingsgedrag van het peilmerk, wordt de referentietijdserie van alle InSAR tijdseries afgetrokken. Vervolgens geven alle InSAR tijdseries de hoogteverschillen ten opzichte van het referentiepeilmerk weer.

De respectievelijke referentietijdseries voor de peilmerken 030D0004 en 000A2200 zijn in Figuur 6 weergegeven en kunnen als stabiliteitsindicatie worden beschouwd. Dat in het gebied van beide peilmerken met InSAR geen significante deformatie wordt waargenomen, steunt de stabiliteitshypothese.



Figuur 6: InSAR deformatie van de individuele PS binnen een straal van 1 km rond de referentiepeilmerken (blauwe punten) en ruimtelijke mediaan (zwarte lijn). Deze geeft de beweging van het gebied rond de referentiepeilmerken ten opzichte van het in Figuur 4 gevisualiseerde stabiel veronderstelde gebied buiten de invloedssfeer van de gaswinning weer.

Een voordeel van deze aanpak is, dat historische tijdseries van waterpassingen door InSAR kunnen worden voortgezet. Nadelig is echter de invloed van in de ruimte groeiende fouten, die

als netwerkvoortplantingsfouten, oftewel residuele atmosferische verstoringen, in beide technieken voorkomen. Bij grote afstanden van het referentiepunt kunnen deze het aandeel van de daadwerkelijke bodemdaling aan de gemeten hoogteverschillen onherkenbaar vertroebelen.

3.4.2 Datumtransformatie waterpassing naar InSAR

De invloed van in de ruimte groeiende foutenbronnen wordt afgezwakt, als niet de InSAR metingen naar het referentiepunt van de waterpassingen, maar de gewaterpaste hoogteverschillen naar de referentie van de InSAR metingen worden geconverteerd. Strikt genomen is dat niet mogelijk, omdat er nauwelijks overlap bestaat tussen het waterpasnetwerk en het stabiel veronderstelde buitengebied. Dit gebied is conservatief gedefinieerd, doordat een heel ruime afstand tot de gebieden van delfstofwinning en hun invloedssfeer wordt aangehouden. Daarom kunnen een aantal peilmerken aan het rand van het waterpasnetwerk wél stabiel zijn, terwijl zij niet in het stabiel veronderstelde buitengebied liggen.

Een benadering kan worden bereikt door te veronderstellen, dat de volgens paragraaf 3.3 berekende dubbel-differenties uit InSAR representatief zijn voor de gewaterpaste hoogteverschillen in ruimte en tijd. Deze aanname moet voor de vergelijking sowieso worden gemaakt en kan daarom ook bij de datumstransformatie worden gebruikt. De transformatie houdt dan in, dat de gemiddelde afwijking van de gewaterpaste hoogteverschillen t.o.v. de hoogteverschillen uit InSAR van alle gewaterpaste hoogteverschillen wordt afgetrokken. Deze aanpak heeft het inherente bijeffect, dat de gemiddelde afwijking per definitie gelijk nul is.

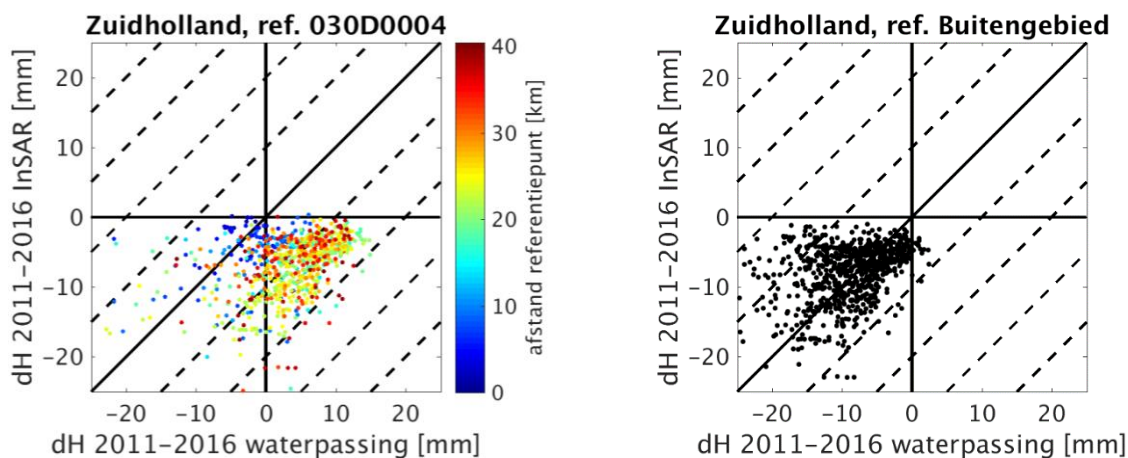
4 Vergelijking

In totaal zijn gedurende het tijdvak, waarin InSAR metingen beschikbaar zijn, drie waterpas-campagnes uitgevoerd: 2011, 2014 en 2016. Uit Figuur 2 wordt duidelijk, dat het grootste potentieel voor een vergelijking in de hoogteverschillen tussen de meetcampagnes van 2011 en 2016 zit. Het aantal peilmerken, dat in beide campagnes is waargenomen, is hier het grootst. Ook is voor 805 van deze 812 peilmerken (99,1 %) minimaal één PS binnen een straal van 500 m beschikbaar.

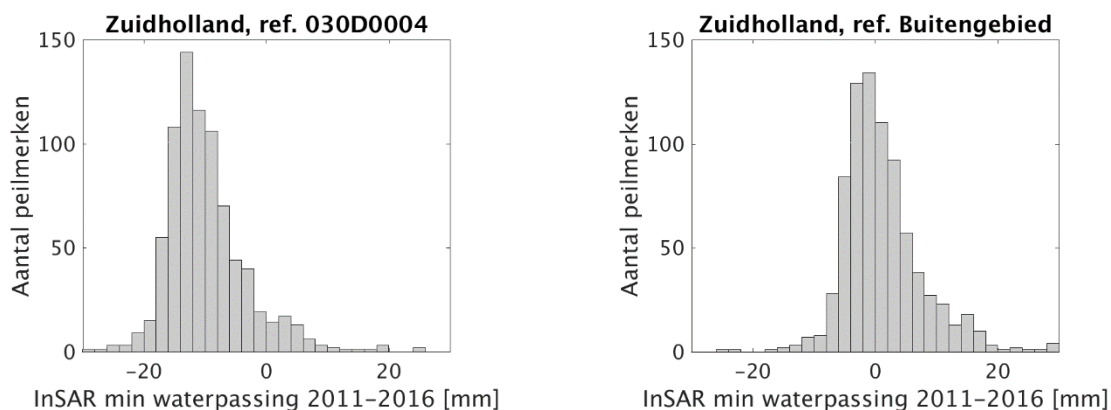
Vergelijkingen van hoogteverschillen tussen 2011 en 2014 of tussen 2014 en 2016 zijn minder betekenisvol, omdat de netwerken van 2014 kleiner zijn en omdat de te verwachten signaal-ruis verhouding voor kleinere tijdsintervallen slechter is. Daarom is de vergelijking in eerste instantie op het tijdvak 2011-2016 gericht. Resultaten voor de kortere tijdvakken worden als aanvullende informatie in bijlage A meegeleverd.

4.1 Resultaten

Figuur 7 geeft een directe vergelijking van de door beide technieken waargenomen hoogteverschillen weer, voor twee verschillende referentiekeuzes (zie paragraaf 3.3). Als de hoogteverschillen ten opzichte van peilmerk 030D0004 worden berekend, zijn 59 % van de afwijkingen groter dan 1 cm, 3 % zijn groter dan 2 cm, en het wordt gesuggereerd, dat door InSAR een grotere bodemdaling wordt waargenomen dan door waterpassing (zie ook Figuur 8). De gewaterpaste hoogteverschillen voor de meeste peilmerken suggereren zelfs een bodemstijging, die moeilijk fysiek verklaard kan worden. Deze conclusies zijn echter een kwestie van referentiekeuze. Als de gemiddelde afwijking tussen de twee technieken op nul wordt gesteld, wat vergelijkbaar is met het refereren aan een stabiel verondersteld buitengebied (zie paragraaf 3.4.2), zijn nog maar 12 % van de afwijkingen groter dan 1 cm en 2 % groter dan 2 cm.



Figuur 7: Vergelijking van door InSAR en waterpassing gemeten hoogteverschillen voor twee verschillende ruimtelijke referenties (zie paragraaf 3.3).



Figuur 8: Histogrammen met onderlinge afwijkingen van de met waterpassing en InSAR gemeten hoogteverschillen voor twee verschillende ruimtelijke referenties (zie paragraaf 3.3).

Dit effect heeft mede te maken met de ligging van het referentiepeilmerk 003D0004 aan het rand van het netwerk. Omdat de meetonzekerheid toeneemt met de afstand van het referentiepunt kan de ruimtelijke foutenvoortplanting, die in beide technieken aanwezig is, aanzienlijk oplopen. Door de gemiddelde afwijking op nul te stellen, zodat de metingen in principe aan het stabiel verondersteld buitengebied gerefereerd zijn, worden de meetfouten geminimaliseerd.

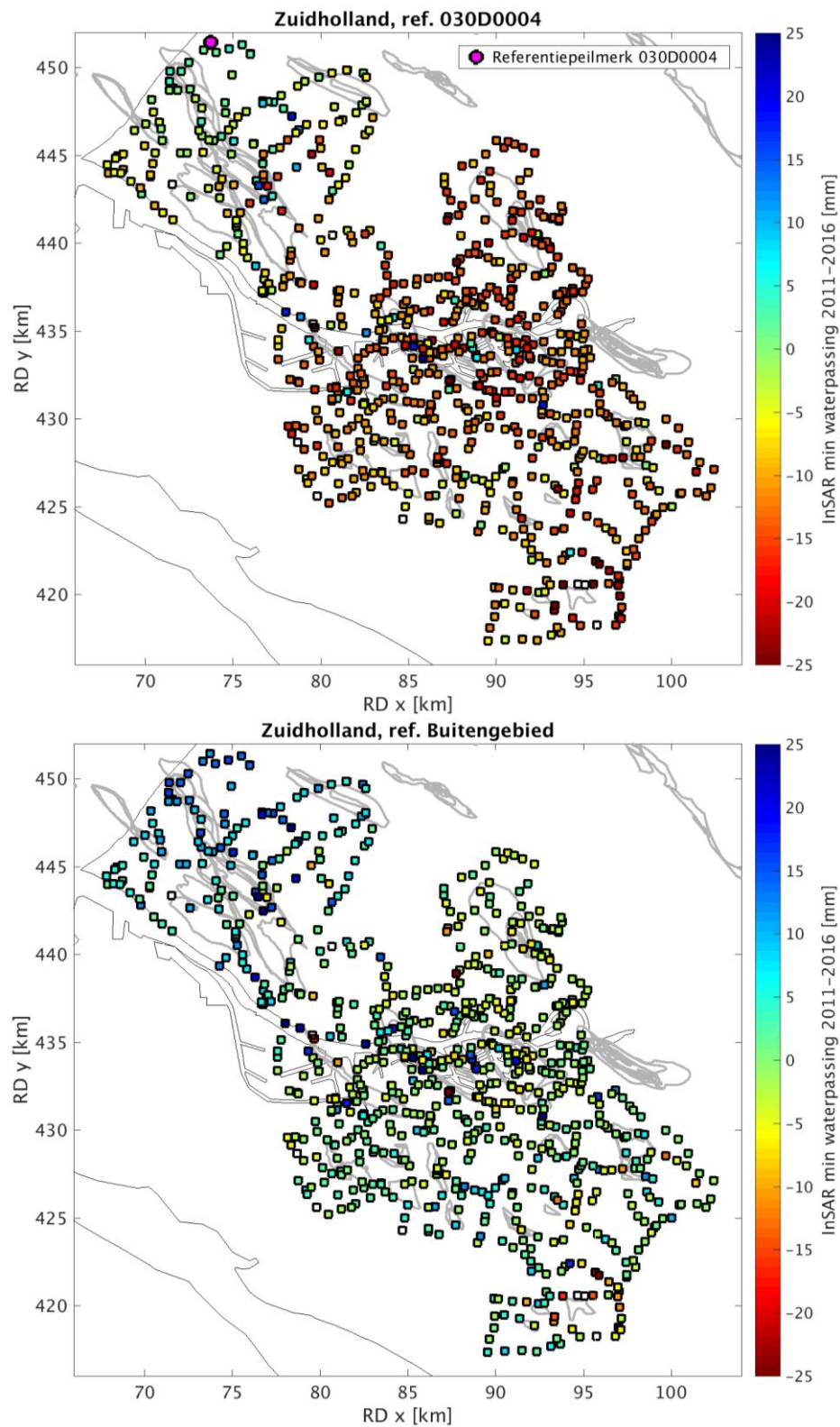
Ook de netwerkgeometrie heeft een invloed op de voortplantingsfout. Deze wordt door de langwerpige vorm en een soort “flessenhals” begunstigd, die het referentiepunt van het grootste deel van het netwerk scheidt. Dit is goed te zien in de overzichtskaarten in Figuur 9.

Bij de vergelijking van InSAR met waterpassing moet ook in acht worden genomen, dat de meetpunten fysiek niet identiek zijn. Peilmerken zijn in het algemeen aan gebouwen bevestigd, die in combinatie met een slechte fundatie en een zacht ondergrond een autonoom bewegingsgedrag kunnen vertonen. Autonome bewegingen zijn ook de meest waarschijnlijke verklaring voor een aantal ruimtelijk geïsoleerde grote afwijkingen (zie Figuur 9), die niet in overeenkomst zijn met de afwijkingen op peilmerken in de onmiddellijke omgeving.

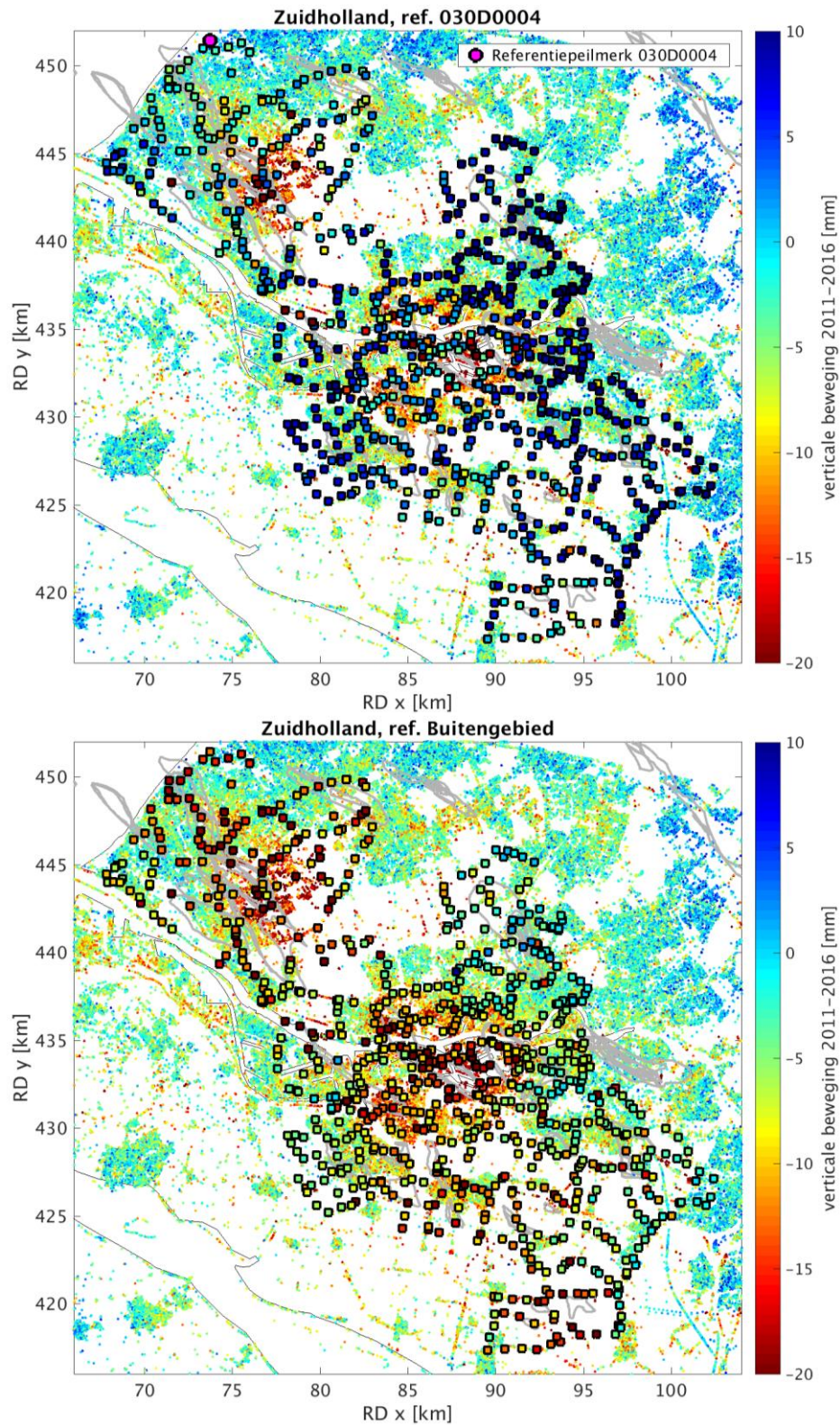
Terwijl peilmerken gemiddeld stabiel zijn dan PS, ligt de kracht van PS in de dichte ruimtelijke bedekking. Hierdoor ontstaat ook een beeld van de bodembeweging tussen de peilmerken (zie Figuur 10). Deze aanvullende informatie kan ook helpen, uit InSAR afgeleide hoogteverschillen robuuster te maken tegenover autonome bewegingen. Dat geldt in het bijzonder, wanneer de gemiddelde InSAR deformatie op peilmerklocaties wordt afgeleid uit een grote overtalligheid van nabije PS.

4.2 Beoordeling

De verschillen tussen InSAR en waterpassing kunnen aan twee effecten worden geweten: meetonzekerheid en autonome bewegingen. De meetonzekerheid is een maat voor de gemiddelde restfout, waarmee de beweging van de meetpunten kan worden bepaald. Onder autonome beweging wordt verstaan, dat verschillende meetpunten op (nagenoeg) dezelfde locatie een afwijkend bewegingsgedrag kunnen vertonen, dat niet noodzakelijk representatief is voor de diepe bodemdaling.



Figuur 9: Overzichtskaarten met onderlinge afwijkingen van de met waterpassing en InSAR gemeten hoogteverschillen voor twee verschillende ruimtelijke referenties (zie paragraaf 3.3).



Figuur 10: Overzichtskaarten van de gemeten hoogteverschillen voor twee verschillende ruimtelijke referenties (zie paragraaf 3.3). De vierkant symbolen geven (gewaterpaste) peilmerken weer, en de kleinere punten zijn InSAR meetpunten (PS).

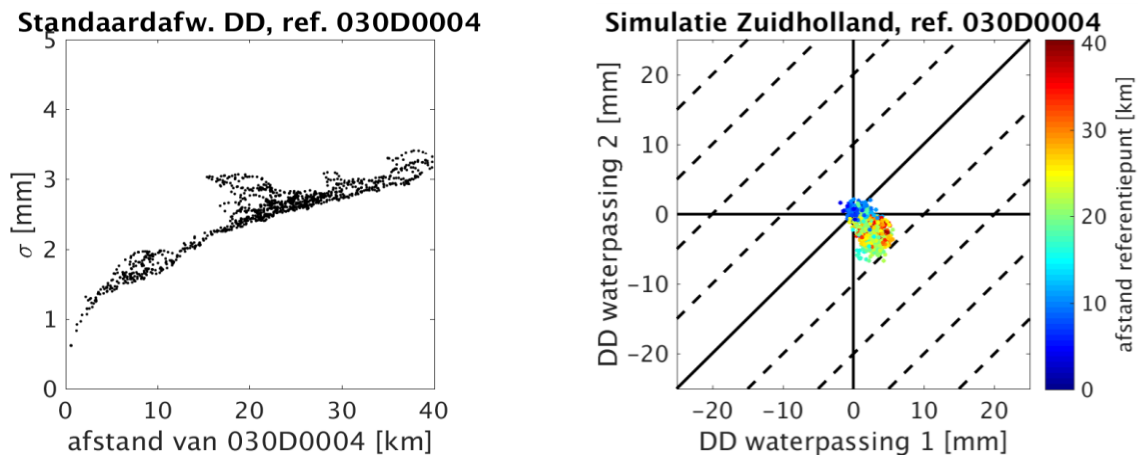
4.2.1 Meetonzekerheid

De meetonzekerheid van InSAR is heel complex en afhankelijk van vele factoren. Er bestaan echter geen bruikbare modellen, om deze goed te beschrijven. Voor de waterpassing bestaan daarentegen goede modellen, gebaseerd op langjarige ervaring.

Om de verschillen tussen waterpassing en InSAR beter te kunnen beoordelen, is een simulatie van waterpasmetingen uitgevoerd. Dat houdt in, dat een set hypothetische metingen is gegenereerd, waarop toevallige meetfouten zijn opgeteld. De grootte van deze fouten zijn gebaseerd op het volgende kansmodel voor een onvereffend hoogteverschil tussen twee peilmerken, gemiddeld uit heen- en terugweg:

$$\sigma = 0,76 \frac{\text{mm}}{\sqrt{\text{km}}} \cdot \sqrt{s}$$

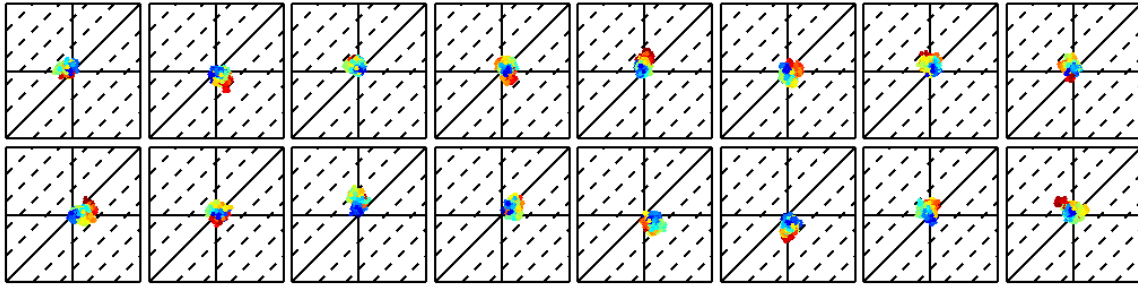
met de sectielengte s . Er worden vier onafhankelijke metingen van het waterpasnetwerk gesimuleerd, waarbij de configuratie van 2011 is aangehouden. Deze zijn plaatsvervangend voor vier hypothetische meetcampagnes, uitgevoerd door twee verschillende meetploegen én in 2011 én in 2016. Uit de vereffende waarnemingen zijn relatieve hoogteverschillen berekend, waarvan in Figuur 11 een mogelijke uitkomst is gevisualiseerd. Een soortgelijke vergelijking is in de praktijk nooit uitgevoerd, omdat een waterpasnetwerk nooit tegelijkertijd twee keer wordt gemeten. Figuur 12 laat een aantal realisaties van de simulatie zien en geeft daarmee een indicatie van de te verwachten afwijkingen bij een hypothetische vergelijking van een set gewaterpaste hoogteverschillen met een tweede, onafhankelijk waargenomen set.



Figuur 11: Simulatie van hoogteverschillen van telkens twee onafhankelijke waterpassingen in 2011 en 2016. Links: standaardafwijking van dubbel-differenties t.o.v. het referentiepeilmerk 030D0004, berekend uit vereffende hoogteverschillen, gebaseerd op het kansmodel $\sigma = 0,76 \frac{\text{mm}}{\sqrt{\text{km}}} \cdot \sqrt{s}$ voor een enkele waarneming. Rechts: vergelijking van twee realisaties van gesimuleerde hoogteverschillen.

Het resultaat laat zien, dat de, op veel peilmerken waargenomen stijging (t.o.v. 030D0004) qua orde van grootte goed door de meetonzekerheid en de daaraan verbonden foutenvoortplanting in het waterpasnetwerk verklaarbaar is. Volgens de simulaties kan deze zonder meer oplopen tot 1 cm aan het verre eind van het netwerk. De grotere spreiding van de échte metingen in Figuur 7 t.o.v. de gesimuleerde metingen in de Figuur 11 en Figuur 12 komt daardoor, dat in de simulatie

uitsluitend de meetonzekerheid is gemodelleerd, terwijl de échte metingen ook daadwerkelijke bodembeweging of autonome bewegingen kunnen bevatten.



Figuur 12: Toevallige realisaties van gesimuleerde hoogteverschillen van telkens twee onafhankelijke waterpassingen in 2011 en 2016. Asindeling en kleurschaal zijn dezelfde als in Figuur 11.

4.2.2 Autonome beweging van meetpunten

De afwijkingen tussen de hierboven gesimuleerde hoogteverschillen van telkens twee hypothetische, onafhankelijke waterpassingen zijn meestal kleiner dan 1 cm. Daarmee zijn zij duidelijk kleiner dan de geconstateerde afwijkingen tussen de in Figuur 7 gevisualiseerde, met verschillende meettechnieken gemeten hoogteverschillen. De verklaring hiervoor is, dat in de simulatie niet met autonome peilmerkbewegingen is rekening gehouden.

Als waterpassingen onafhankelijk van elkaar tegelijkertijd op dezelfde peilmerken worden uitgevoerd, zijn de verschillen vrij van autonome bewegingen van de peilmerken. Dat is niet het geval, als niet dezelfde punten worden gemeten, zoals met de InSAR techniek. Hieruit kan echter niet worden geconcludeerd, dat de InSAR metingen slechter zijn, omdat de representativiteit van de peilmerken voor de diepe bodemdaling niet gevalideerd kan worden.

Beide technieken hebben sterke punten, die hen geschikt maken, om bodemdaling bij te houden. In het algemeen stellen peilmerken stabielere meetpunten voor dan PS, omdat zij deskundig zijn geplaatst, terwijl de locaties van PS niet kunnen worden beïnvloed. Indien peilmerken aan gebouwen met een diepe fundering zijn bevestigd, valt te verwachten, dat zij in mindere mate door ondiepe effecten zijn beïnvloed dan PS. Deze kunnen deels ook op objecten zonder fundering liggen, die aan zettingsgedrag onderhevig zijn of met de bovenste grondlagen mee bewegen.

Desalniettemin kunnen ook goed gefundeerde meetpunten bij wijze van uitzondering niet representatief zijn. Enkele uitschieters zijn duidelijk te zien in Figuur 10. Dat risico is in het geval van PS (onder veronderstelling van toereikende bemonstering) verminderd, omdat het effect van afzonderlijk bewegingsgedrag door grote overtaligheid in verband met robuuste verwerking van meetgegevens wordt afgezwakt. Deze hypothese wordt bevestigd door de grotere spreiding van met waterpassing gemeten hoogteverschillen t.o.v. de InSAR hoogteverschillen in Figuur 7.

Het rapportagegebied staat bekend om én sterke veencompactie in de bovenste grondlagen én uiteenlopend zettingsgedrag van de dichte bebouwing en infrastructuur. Bij de analyse van hoogteveranderingen zijn “ondiepe” effecten moeilijk te scheiden van de door compactie van gas- en oliereservoirs veroorzaakte “diepe” bodemdaling. Vanwege de buitengewoon uitzonderlijke autonome peilmerkbewegingen in Zuid Holland, kan diens orde van grootte ook niet aan hand

van algemene stochastische modellen worden beoordeeld. Beschikbare modellen zijn in gebieden bepaald, waar zetting en veencompactie in mindere mate aanwezig zijn.

5 Conclusies

Voor het rapportagegebied Zuid Holland zijn hoogteverschillen uit waterpassing en InSAR van het tijdvak 2011-2016 met elkaar vergeleken. De metingen zijn hiervoor adequaat naverwerkt. In het bijzonder moet een gezamenlijke ruimtelijke referentie worden gewaarborgd.

Worden beide datasets aan het referentiepeilmerk van de waterpassing gerelateerd, zijn slechts 41 % van de afwijkingen kleiner dan 1 cm. Wordt daarentegen het stabiel veronderstelde gebied buiten de invloedssfeer van de delfstofwinning als maatgevend beschouwd, zijn 88 % van de afwijkingen kleiner dan 1 cm. De meetonzekerheid groeit voor beide technieken met toenemende afstand van de referentie(punt). Dat het referentiepeilmerk van de waterpassing aan het rand van het netwerk ligt, verklaart, waarom bij deze referentiekeuze de afwijkingen zo groot zijn.

Een tweede foutenbron zijn autonome bewegingen van meetpunten. Deze zijn in het rapportagegebied relatief groot en waarschijnlijk vooral te wijten aan veencompactie en zetting van objecten, waarop de meetpunten liggen. Peilmerken zijn in het algemeen in diep gefundeerde bouwwerken geplaatst en daarom in hoge mate representatief voor de diepe bodemdaling. Toch geven enkele ruimtelijk geïsoleerde grote afwijkingen een indicatie voor significante autonome beweging van peilmerken. InSAR meetpunten liggen daarentegen niet noodzakelijk op diep gefundeerde gebouwen, maar zij hebben een grotere ruimtelijke dichtheid. De gemiddelde deformatie, berekend uit meerdere meetpunten in ruimtelijke nabijheid, is daarom robuuster tegenover autonome bewegingen.

Beide meettechnieken hebben hun sterke punten en lijken geschikt, om de bodemdaling in Zuid Holland te monitoren. De onderlinge verschillen lijken aanvaardbaar en er is geen indicatie van significante discrepanties, die aan de InSAR techniek te wijten zijn. Deze stelling kan echter niet worden geobjectiveerd. Autonome bewegingen van de meetpunten maken het onmogelijk, om de afwijkingen kwantitatief te beoordelen.

6 Verantwoording

Dit rapport 'Meetregister Zuid-Holland 2017 – Rapportage van de nauwkeurigheidswaterpassing en satelliet radar interferometrie; rapportage behorende bij het meetplan Zuid-Holland 2017' is onder verantwoordelijkheid van ondergetekende tot stand gekomen.

Assen, 12 januari 2018
Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.

W. van der Veen
Head Onshore Surveys

Bijlagen

A Geleverde data

Alle genoemde bestanden zijn beschikbaar in de Sharepoint Extranet omgeving.

A.1 MOVE3 bestanden.

Bijlage A1 bestaat uit een zip-bestand met daarin de projectbestanden van de MOVE3 invoer en uitvoer bestanden met de resultaten van de eerste fase vrije vereffening. Uit de overall F-toets en W-toetsen blijkt, dat geen van de waarnemingen wordt verworpen.

`MR_Zuid-Holland_2017_BijlageA1_MOVE3.zip`

A.2 Differentiestaat waterpassing

De hoogten en hoogteveranderingen van de peilmerken worden in een differentiestaat gepresenteerd. De gepresenteerde hoogten van de meting zijn niet gecorrigeerd voor externe invloeden.

`MR_Zuid-Holland_2017_BijlageA2_Diffstaat_030D0004_1989-2016.csv`

De differentiestaat bevat een aantal groepen peilmerken die tenminste twee keer zijn aangemeten. De groep van de primaire peilmerken is zowel in de nulmeting als ook in 2016 aangemeten. Secundaire peilmerken zijn of niet in de nulmeting en/of niet in 2016 aangemeten. Afhankelijk van het eerste meetjaar zijn de secundaire peilmerken geclassificeerd in groepen per jaar van eerste aanmeting. De betekenis van de kolommen is verklaard in Tabel 4.

Tabel 4: Verklaring header differentiestaat waterpasdata

Kolomnaam	Betekenis
Puntnr	Officiële NAP puntnummer
X (RD)	X-coördinaat in Rijksdriehoeksstelsel (10m nauwkeurig)
Y (RD)	Y-coördinaat in Rijksdriehoeksstelsel (10m nauwkeurig)
Type	Primair / secundair
Hoogte	Geschatte hoogte (per epoche) in meters ten opzichte van het referentie peilmerk (vrije netwerk vereffening).
Dif	Hoogteverschil in millimeters ten opzichte van de vorige epoche.
Cum	Hoogteverschil in millimeters ten opzichte van de eerste epoche dat het peilmerk aangemeten is.

A.3 Overzichtskaart deformatienet met differenties [2011–2016]

Een overzichtskaart van het deformatienet geeft de differenties tussen 1989 en 2016 weer (EP201801200410).

`MR_Zuid_Holland_2017_BijlageA3_Kaart_2011-2016.pdf`

A.4 Differentiestaat InSAR

De InSAR tijdseries per PS zijn bijgesloten als tabel met een regel per PS en een kolom per opnametijdstip.

`MR_Zuid-Holland_2017_BijlageA4_Radarsat2_2010-2016.csv`

Aangegeven wordt het hoogteverschil ten opzichte van het stabiel veronderstelde buitengebied (zie Figuur 4) en ten opzichte van de eerste meting. Daarbij is aangenomen, dat de gemeten bodembeweging geen horizontale component bevat (zie paragraaf **Error! Reference source not found.**). Tevens zijn alleen PS opgenomen, diens beweging als representatief voor de PS in hun nabije omgeving kan worden beschouwd (zie paragraaf 3.2). De betekenis van de kolommen is verklaard in Tabel 5.

Tabel 5: Verklaring header differentiestaat InSAR

Kolomnaam	Betekenis
PNTNAME	Unieke puntnummer PS
X (RD)	X-coördinaat in Rijksdriehoeksstelsel (enkele meter nauwkeurig)
Y (RD)	Y-coördinaat in Rijksdriehoeksstelsel (enkele meter nauwkeurig)
D_dd_mm_yyyy	InSAR deformatie per opnamedatum

A.5 Gecombineerde differentiestaat uit waterpassing en InSAR

Een gecombineerde differentiestaat integreert de InSAR deformatie op peilmerklocaties in de tijdseries van gewaterpaste hoogteverschillen.

`MR_Zuid-Holland_2017_BijlageA5_030D0004_1989-01-01_gecombineerd.csv`

De gewaterpaste hoogteverschillen zijn identiek met de in bijlage A.1 gerapporteerde waarden en aangevuld met InSAR deformatiemetingen. De betekenis van de kolommen is verklaard in tabel 6



Tabel 6: Verklaring header gecombineerde differentiestaat

Kolomnaam	Betekenis
PNTNAME	Officiële NAP puntnummer
X (RD)	X-coördinaat in Rijksdriehoeksstelsel (10 m nauwkeurig)
Y (RD)	Y-coördinaat in Rijksdriehoeksstelsel (10 m nauwkeurig)
Type	Primair / secundair
H_dd_mm_yyyy	Geschatte hoogte (per epoche) in meters ten opzichte van het referentie peilmerk (vrije netwerk vereffening)
D_dd_mm_yyyy	<ul style="list-style-type: none">Voor peilmerken zonder achtervoegsel "a" aan het peilmerknummer: geschatte hoogte (per epoche) in meters ten opzichte van het referentie peilmerk, gebaseerd op een combinatie van waterpassingen en InSAR deformatiemetingenVoor peilmerken met achtervoegsel "a" aan het peilmerknummer: geschatte hoogteverandering (per epoche) in meters ten opzichte van de locatie van het referentiepeilmerk en de gemiddelde deformatie in het eerste jaar van InSAR waarnemingen (13-6-2010 t/m 8-6-1011), uitsluitend gebaseerd op InSAR deformatiemetingen

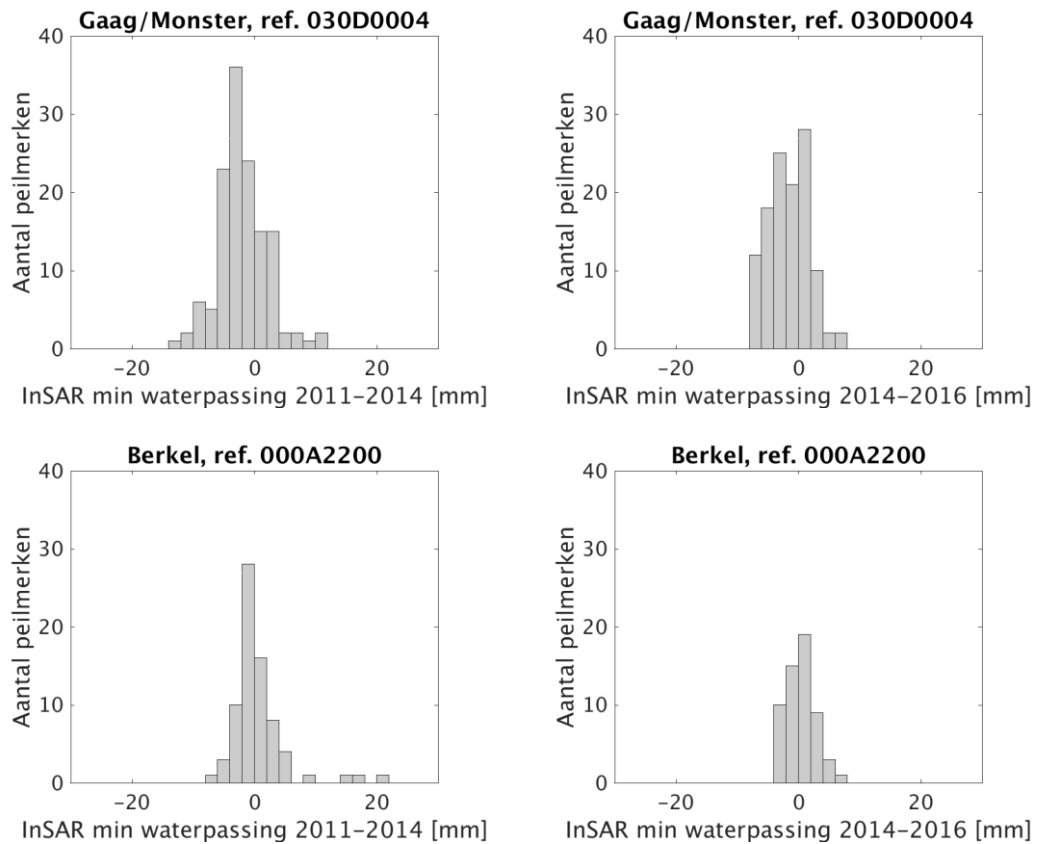
B Opmerkingen betreffende de waterpassing

In het algemeen kan gesteld worden dat er relatief gezien grote variaties in deformatiegedrag van peilmerken bestaat, van ongeveer -1cm tot +1cm.

Enkele peilmerken met afwijkend deformatiegedrag:

- 037B0339 (daling 20mm) Betreft een ANWB paddestoel. Tussen 2008 en 2011 liet deze een stijging van 13mm zien. Vervolgens in 2014 een daling van 16mm en tussen 2014 en 2016 een daling van 5mm. Vergeleken met omliggende peilmerken kan geconcludeerd worden, dat dit peilmerk niet erg stabiel is. 
- 037B0301 (daling 28mm) Betreft een bout in een betonnen put. Dit peilmerk laat in de periode 2011-2016 een daling van 28mm zien. Nabij gelegen peilmerken 037B0302, 0303 en 0316 laten in dezelfde periode vrijwel geen deformatie zien (0-1mm) 
- 037E0498 (stijging 241mm) In 2011 werd geconstateerd dat destijds waarschijnlijk het verkeerde peilmerk aangemeten is. Vergeleken met de meting van 2008 is het peilmerk 7mm gestegen.
- 037B0358 (daling 28mm) Trafo gebouwtje. Daling afwijkend van omliggende peilmerken.
- 037B0246 (daling 32mm) Hoewel naburig peilmerk 037B0123 ook 21mm gedaald is, geldt voor andere naburige peilmerken, dat deze 1-4mm deformatie geven
- 037H0775 (daling 18mm) Omliggende peilmerken laten een stijging van 2-7mm zien.
- 037H0769 (daling 25mm) Peilmerk in betonbalk van tunnel. Ook hier geldt, dat naburige peilmerken een relatieve stijging van 1-10mm laten zien.

C Aanvullende resultaten



Figuur 13: Histogrammen met onderlinge afwijkingen van de met waterpassing en InSAR gemeten hoogteverschillen voor twee verschillende deelgebieden (zie Figuur 2) en tijdvakken.